

### Computersimulation und Theoriebildung in den Sozialwissenschaften

Schnell, Rainer

Veröffentlichungsversion / Published Version  
Zeitschriftenartikel / journal article

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:  
SSG Sozialwissenschaften, USB Köln

#### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Schnell, R. (1990). Computersimulation und Theoriebildung in den Sozialwissenschaften. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 42(1), 109-128. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-121839>

#### Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

#### Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

## II. Berichte und Diskussionen

### COMPUTERSIMULATION UND THEORIEBILDUNG IN DEN SOZIALWISSENSCHAFTEN\*

Von Rainer Schnell

#### I. Einleitung

Computersimulationen in den Sozialwissenschaften gibt es seit ca. 30 Jahren.<sup>1</sup> Die anfängliche Begeisterung der Verwendung von Computersimulationen zeigte sich auch in einer schnell wachsenden Anzahl von Simulationen. So stieg die Anzahl der publizierten Computersimulationen in den Sozialwissenschaften von 1950 bis Mitte der sechziger Jahre um 23 Prozent jährlich (Starbuck 1983, S. 155). Diese Tendenz setzte sich danach aber nicht mehr fort; von 1973 bis heute lassen sich pro Monat durchschnittlich nur noch zwei neuerschienene Computersimulationen durch den Social Science Citation Index nachweisen.<sup>2</sup> Auch wenn hier nur ein grober Indikator für die Verwendung von Simulationen durch Soziologen vorliegt, so kann doch die Größenordnung verdeutlicht werden, wenn man berücksichtigt, daß der Social Science Citation Index in den letzten 17 Jahren zwar mehr als 40.000 Arbeiten zu den Stichworten „Theory“, „Theoretical“ und „Theories“ nachweist, aber nur 465 Computersimulationen. Bemerkenswerterweise enthält *keine einzige Arbeit* „Theory“ und „Computer simulation“ *gemeinsam*.<sup>3</sup>

---

\* Diese Arbeit stellt die stark erweiterte und überarbeitete Version eines Vortrages vor der Arbeitsgruppe „Modellierung und Simulation sozialer Prozesse“ am 23. Juni 1989 in Köln dar. Für die umfangreiche Kritik einer früheren Fassung bin ich Elke Esser zu Dank verpflichtet.

- 1 Eine vollständige Bibliographie der frühen Arbeiten bis einschließlich 1968 findet sich bei John M. Dutton und William H. Starbuck (1971). Nützliche Hinweise auf die Geschichte der Computersimulation in den Sozialwissenschaften finden sich bei G. David Garson (1987).
- 2 Der Social Science Citation Index enthält zwischen Januar 1973 und Mai 1989 nur insgesamt 3079 Arbeiten zum Stichwort „Simulation“ und 465 zu „Computer Simulation“. Da in der amerikanischen Literatur sehr häufig nicht zwischen „simulation“ und „gaming“ unterschieden wird, wobei „gaming“ eher „Spiele“ mit menschlichen Akteuren zu Ausbildungszwecken bezeichnet, ist „computer simulation“ vermutlich der bessere Suchbegriff für die hier gemeinten Simulationen.
- 3 Zieht man allerdings die „sociological abstracts“ seit 1963 heran, so erhält man bei ca. 850 Simulationen, 160 Computersimulationen und mehr als 65.000 „Theory“-Arbeiten immerhin 275 Arbeiten, in denen „Simulation“ und „Theory“ gemeinsam vorkommen. Nur die wenigsten dieser Arbeiten enthalten tatsächliche Computersimulationen sozialwissenschaftlicher Theorien, viele dienen Ausbildungszwecken, erörtern methodische Probleme oder sind einfache Warteschlangen- oder Diffusionsmodelle.

Weiterhin gibt es mit wenigen Ausnahmen (Harbordt 1974; Zwicker 1981; Vetterle 1986) keine sozialwissenschaftlichen Monographien in deutscher Sprache zu den methodischen Problemen der Computersimulation in den Sozialwissenschaften. Schließlich enthalten weder die Lehrbücher empirischer Sozialforschung noch Lehrbücher der soziologischen Theorie ausführlichere Darlegungen zu Computersimulationen. Computersimulationen scheinen also weder in der Praxis empirischer Sozialforschung eine Rolle zu spielen noch auf die soziologische Theorienbildung einen wahrnehmbaren Einfluß zu besitzen.

In anderen Disziplinen werden Simulationsmodelle weit häufiger verwendet als in den Sozialwissenschaften. Auch ein beachtlicher Teil „sozialwissenschaftlicher“ Simulationen stammt so von Mathematikern, Ingenieuren und Physikern und wird an Orten publiziert, die vielen Soziologen nicht unbedingt zugänglich sind.<sup>4</sup> Auch aus diesem Grund (und nicht nur daher, daß Sozialwissenschaftlern die zur Beurteilung von solchen Modellen notwendigen Kenntnisse meist fehlen) sind Simulationen häufig der Kritik entzogen und werden von Soziologen weitgehend ignoriert. Dies hat zu einer in mehrfacher Hinsicht ungewöhnlichen Literaturlage geführt.

Der wichtigste Aspekt dieser Situation ist die extrem unterschiedliche Wahrnehmung der Simulation durch die meisten Modellbauer selbst gegenüber der Einschätzung durch die meisten (nichtmodellbauenden) Sozialwissenschaftler. Die vorhandenen Simulationen werden kaum rezipiert, insbesondere erfolgt fast nie eine Detailkritik. Andererseits sehen sich Simulationskonstrukteure häufig den globalen Vorwürfen der Übersimplifizierung, der falschen Spezifikation der kausalen Prozesse und Bedenken hinsichtlich der Probleme der Schätzung der Parameter der Simulationen gegenüber (vgl. z.B. Garson 1987, S. 124). Eine Reihe anderer Vorwürfe hat Hayward R. Alker (1977) in dem Titel eines Aufsatzes zusammengefaßt: „Computer-Simulationen: Unelegante Mathematik und noch schlechtere Sozialwissenschaft?“

Im folgenden soll zunächst gezeigt werden, daß der besondere Status von Simulationsverfahren zum größten Teil durch Mißverständnisse der Möglichkeiten der Simulationstechnik und die überwiegende Rezeption nur einer der möglichen Simulationsformen bedingt wurde. Dafür ist eine kurze Darstellung der unterschiedlichen Simulationsverfahren und ihrer typischen Anwendungen notwendig.

## *II. Formen der Computersimulation und deren Anwendung*

Computersimulationen lassen sich auf vielfältige Art und Weise definieren und klassifizieren (Troitzsch und Möhring 1988). Grob kann man in den Sozialwissenschaften zwischen den System-Dynamics-Modellen, den Mikrosimulationsmodellen und einer dritten Klasse von Modellen, für die bisher keine einheitliche Bezeichnung existiert, die aber meist als „qualitative“ oder „konzeptbasierte“ Modelle bezeichnet werden, unterscheiden.

4 Fast jede Bibliographie zur Computersimulation zeigt eine ungewöhnlich hohe Zahl unveröffentlichter technischer Berichte und Dissertationen. Die Ergebnisse von Simulationen werden häufig in wenig verbreiteten Zeitschriften und bei sehr kleinen (technischen) Verlagen veröffentlicht. Die technischen Details fast aller Simulationen sind nur auf persönliche Anfrage bei den Autoren erhältlich.

In der nicht-sozialwissenschaftlichen Simulationsliteratur (z.B. Kreutzer 1986) wird meist grob zwischen „kontinuierlichen“ und „discret-event“-Simulationen unterschieden. Die ersteren haben in den Sozialwissenschaften fast ausschließlich in dem weiter unten dargestellten System-Dynamics-Ansatz ihre Anwendung gefunden, die letzteren besitzen in den (theoretischen) Sozialwissenschaften kaum eine Anwendung: Discret-Event-Modelle (z.B. Bratley, Fox und Schrage 1987) werden fast ausschließlich für praktische Probleme bei der Modellierung von Warteschlangensystemen aller Art eingesetzt. Schließlich werden auch die sogenannten „Monte-Carlo-Studien“, die z.B. bei statistischen Problemen dann angewendet werden, wenn analytische Lösungen nicht möglich sind, häufig als „Simulationen“ bezeichnet. Durch Monte-Carlo-Studien können z.B. die Eigenschaften statistischer Schätzmethode durch die Verwendung von Zufallsexperimenten mit Rechnern schlicht ausprobiert werden.

## 1. System-Dynamics

System-Dynamics-Modelle verwenden die Sprache DYNAMO. Mit ihr werden Systeme durch bestimmte Zustandsvariablen (Levels) beschrieben, die durch nahezu kontinuierliche Veränderungen (Rates) zu anderen Zuständen des Systems führen. Diese auf Differenzengleichungen<sup>5</sup> basierende Sprache enthält eine Anzahl von Hilfsmitteln, mit denen die simulierten Veränderungen beeinflusst werden können, so z.B. verschiedene Verzögerungsfunktionen, die zeitverzögerte und allmähliche Veränderungen eines Levels leicht simulierbar machen.<sup>6</sup>

a) *Weltmodelle.* Die bekanntesten Anwendungen<sup>7</sup> der System-Dynamics-Modelle sind die frühen Weltmodelle von Jay W. Forrester (1971) und Dennis Meadows et al. (1972) in Zusammenarbeit mit dem Club of Rome. Diese Modelle lösten eine umfangreiche Kritik aus, die sich u.a. gegen die extrem hohe Aggregation der verwendeten Variablen, die Vernachlässigung politischer Entscheidungsmechanismen und die mangelnde Datengrundlage wendete (z.B. Clark und Cole 1975; Freeman und Jahoda 1978). Da Forrester immer wieder betonte, daß das Verhalten eines Systems weniger von den Parametern als von der Struktur des Systems abhängt, wurden in diesen Weltmodellen die Parameter kaum jemals empirisch geschätzt, beim Meadows Modell z.B. weniger als 1 Prozent der Parameter.<sup>8</sup> Zudem wurden diese Modelle praktisch kaum validiert oder systematischen Sensitivitätsuntersuchungen<sup>9</sup> unterworfen (z.B. Hugger

5 System-Dynamics-Modelle verwenden Differenzengleichungen, keine Differentialgleichungen: Dieser Punkt wird von Mathematikern häufig kritisch kommentiert. Für die theoretische Arbeit in den Sozialwissenschaften spielen solche vergleichsweise trivialen Unterschiede derzeit nicht die geringste Rolle.

6 Einführungen bieten George P. Richardson und Alexander L. Pugh (1981), Nancy Roberts et al. (1983) sowie Robert A. Hanneman (1988). Generell zu System-Dynamics vgl. auch Eckart Zwicker (1981, S. 399ff.).

7 Eine extensive Bibliographie der Anwendungen der System-Dynamics findet sich bei J. D. Lebel (1982).

8 So Alker in einem Diskussionspapier des WZB, zitiert nach Brian M. Pollins (1984, S. 165). Meadows selbst gab an, daß weniger als 0,1 Prozent der Daten für ein befriedigendes Weltmodell verfügbar seien (zitiert bei Clark und Cole 1975, S. 9).

9 Clark und Cole (1975, S. 67) zitieren eine unveröffentlichte Studie von H. Scolnik aus dem Jahre 1973, die für das Meadows-Modell zeigt, daß sich bei einer Änderung eines beliebigen Startwertes des Modells um 5 Prozent völlig verschiedene Ergebnisse gegenüber dem Standardlauf des Modells ergeben.

1974). Schließlich ergab sich eine Debatte um das Problem der Retrodktion („Backcasting“) der Weltmodelle: Zwar entsprach der Verlauf der vom Modell vorhergesagten Entwicklung der Weltbevölkerung von 1900 an den tatsächlichen Daten (bis zum Simulationszeitpunkt), rechnete man aber das Forrester-Modell zeitlich zurück, so ergab sich ein historisch nicht beobachteter Bevölkerungsrückgang zwischen 1880 und 1900 um 2,6 Milliarden Menschen (Zwicker 1981, S. 140-142, 469-480; ferner Bloomfield 1986, S. 98-120). Solche Anomalien erschütterten die Glaubwürdigkeiten anderer Prognosen des Modells erheblich.

Die erwähnte Kritik an den Weltmodellen führte zu einer Reihe von neuen Weltmodellen, die u.a. wesentlich stärker regionalisiert arbeiteten und dementsprechend größer wurden, ökonomische Prozesse differenziert berücksichtigten und daher mit kürzeren Zeiträumen arbeiteten und z.T. politische Entscheidungsstrukturen zu erfassen versuchten. Weiterhin wurde in wesentlich stärkerem Ausmaß der Versuch unternommen, die Modelle auf vorhandene empirische Daten zu stützen.<sup>10</sup>

Die ungewöhnliche Rezeption von System-Dynamics-Modellen in weiten Bereichen der Sozialwissenschaften sowie die Entwicklung der System-Dynamics-„Bewegung“ läßt sich vermutlich ohne Bezug auf wissenschaftssoziologische Überlegungen kaum verstehen (Bloomfield 1986). In den siebziger Jahren entwickelte sich um die System-Dynamics und in der Folge bei den Weltmodellern eine kleine akademische Subkultur mit einer hohen Interaktionsdichte bei internationalen Konferenzen, persönlichen Kontakten usw.

Eine Folge dieser hohen Kontaktdichte ist eine große Zahl von kaum erhältlichen unveröffentlichten Diskussionspapieren, wodurch der Nachvollzug vieler technischer Details unmöglich gemacht wird. Da für viele der Weltmodelle der Programtext nicht veröffentlicht wurde (Hughes 1985, S. 78), sind sie im Detail nicht kritisierbar, da die theoretischen Annahmen unsichtbar gelassen werden. Diese weitverbreitete Praxis steht in klarem Widerspruch zu dem allgemeinen Anspruch, nachprüfbar Theorien vorzulegen.

Eine andere Folge dieser Subkulturbildung war vermutlich das übersteigerte Vertrauen vieler System-Dynamics-Modellbauer in die Leistungsfähigkeit ihrer Modelle. Die Modelle wurden aber nur selten den hohen Erwartungen gerecht – was relativ schnell zu größeren finanziellen Engpässen für die Modellbauer führte. Derzeit scheint GLOBUS das einzige allgemeine Weltmodell zu sein, das von einer Institution getragen wird; Regierungen haben sich von solchen Modellen zurückgezogen. Andere Institutionen, wie z.B. die Weltbank, scheinen überwiegend an ökonomischen Modellen interessiert zu sein. Es finden keine internationalen World-Modelling-Konferenzen wie zwischen 1974 und 1981 mehr statt, es gibt kein eigenständiges Publikationsorgan (vgl. hierzu Siegman 1987; Cole 1987), der Social Science Citation Index weist von 1973 bis 1989 nur insgesamt 74 Publikationen zu Weltmodellen nach.

Die zunehmende (externe) Skepsis gegenüber diesem Modelltyp führte schließlich auch zu einer deutlichen Revision des Selbstverständnisses der Modellbauer. Besonders deutlich wurde dies bei den Weltmodellen, die nicht mehr als prognostische Werkzeuge, sondern als heuristische Hilfsmittel betrachtet wurden (Pollins 1984, S. 166). Dies führte zu deutlich vorsichtigeren Äußerungen über die Leistungsfähigkeit von System-Dynamics-Modellen (z.B. Meadows und Robinson 1985, S. 391-434).

*b) Urban Dynamics.* Neben den Weltmodellen wurden vor allem die sogenannten Urban-Dynamics-Modelle bekannt (Forrester 1969; Alfeld und Graham 1976), bei denen die

<sup>10</sup> Übersichten über neuere Weltmodelle finden sich bei Heinrich Siegmann (1987) und Sam Cole (1987).

System-Dynamics auf Probleme der Stadtentwicklung angewendet wurden. Nach einer kurzen Anfangsphase wurden solche Modelle aber kaum noch weiter verfolgt. Das Journal „Simulation and Games“ verzeichnet seit Jahren einen Rückgang der Beiträge in dem Bereich „Urban/Regional Studies“ (Duke und Kemeny 1989, S. 179), und die neueren Übersichten zu stadtsoziologischen Problemen in den Annual Reviews of Sociology enthalten keinerlei Hinweise auf neuere Simulationen oder Urban Dynamics. Die Simulationen zur Stadtentwicklung bieten mithin das vielleicht deutlichste Beispiel für den durch die offensichtliche Insuffizienz der Theorien bedingten schnellen Verfall der Begeisterung zu Beginn der sechziger Jahre für Simulationen bei inhaltlich interessierten Soziologen (Starbuck 1983, S. 161).

Faßt man die ersten 20 Jahre System-Dynamics zusammen, so kann man feststellen, daß weder die Arbeit an den Weltmodellen noch an anderen Dynamo-basierten oder Dynamo-ähnlichen Modellen einen wahrnehmbaren Einfluß auf die Theoriebildung in den Sozialwissenschaften hatte. Zumindest in der Wirkung der Modelle wurde weder der Anspruch eingelöst, widerspruchsfreie und vollständige Theorien vorzulegen, noch wurden Prognosehilfsmittel geliefert. Die Modelle wurden kaum systematisch validiert,<sup>11</sup> so daß weder eine theoretische noch eine empirische Legitimation der „Ergebnisse“ möglich war. Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß der System-Dynamics-Ansatz (einschließlich der Dynamo-Modelle) in der soziologischen Theoriebildung weder bisher eine bedeutende Rolle gespielt hat, noch vermutlich spielen wird.

## 2. Mikrosimulationsmodelle

Die zweite wichtige Klasse von Modellen sind die Mikrosimulationsmodelle. Diese Modelle kennzeichnen individuelle Einheiten (z.B. Haushalte) durch eine Reihe von Variablen, wie etwa Kinderzahl und Alter der Haushaltsmitglieder. Ein Mikrosimulationsmodell enthält eine hohe Zahl von diesen individuellen Einheiten (also eine Population) und simuliert Veränderungen der Merkmale der Einheiten über die Zeit. Es werden also z.B. Geburten und Sterbefälle, Heiraten und Scheidungen, Mobilitätsprozesse und Einkommensveränderungen usw. auf der Ebene der individuellen Einheiten simuliert und interessierende Statistiken wie bei einer realen Stichprobe berechnet. Die Veränderungen der individuellen Einheiten erfolgt durch einen stochastischen Prozeß auf der Basis von (durch empirische Erhebungen) geschätzten Übergangswahrscheinlichkeiten. Das Hauptziel von Mikrosimulationen sind meist Abschätzungen von Bevölkerungsentwicklungen und die Analyse der Auswirkungen sozialpolitischer Maßnahmen auf Verteilungsparameter,<sup>12</sup> also z.B. von Fragen der Art „Wie verändert

11 Für das vermutlich einzige derzeit bestehende Weltmodell, GLOBUS, scheint keine systematische Validierung publiziert worden zu sein. Bei mehr als 10.000 FORTRAN-Zeilen und ca. 40.000 Variablen bzw. Parametern erscheint eine Validierung auch theoretisch kaum möglich. Die 940 Seiten starke Hauptpublikation des GLOBUS-Projektes (Bremer, Hrsg. 1987) enthält ca. 50 Seiten unter der Überschrift „Evaluating GLOBUS“. Falls man die dort durchgeführten Analysen als Validierung betrachtet, reduziert sich diese ohne die methodologischen Bemerkungen auf die Seiten 751-771.

12 Zu solchen Modellen vgl. Robert Haveman und Kevin Hollenbeck (1980), Guy Orcutt,

sich die Zahl der BaFöG-Berechtigten bei der Erhöhung des Freibetrages?“. Durch die spezielle Problemstellung für diese Modelle ergeben sich kaum Berührungspunkte mit der soziologischen Theoriebildung.<sup>13</sup>

### 3. Qualitative Simulationen

Die hohe Publikumsbekanntheit der frühen Weltmodelle und die relativ große Bekanntheit anderer System-Dynamics-Modelle unter Soziologen in den siebziger Jahren, insbesondere der Urban-Dynamics-Modelle, hat dazu geführt, daß Computersimulation in den Sozialwissenschaften sehr häufig mit der Entwicklung von Dynamo-Modellen synonym verstanden wird. Die frühe Monographie von Steffen Harbordt (1974) erwähnt zwar kurz die anderen Modelle (Harbordt 1974, S. 39-43), geht aber auf diese im weiteren Verlauf kaum noch ein. Eine modernere Arbeit von Dietrich Dörner (1984, S. 345) definiert Simulationen als Modelle, die auf einer formalen Systembeschreibung basieren „und damit letzten Endes auf einem System von Gleichungen, meist wohl auf einem System von Differentialgleichungen“. Qualitative Modelle werden aus solchen Definitionen von vornherein ausgeschlossen.

Gerade qualitative Modelle sind aber für die Theorienbildung von großer Bedeutung: Geprüft werden soll durch qualitative Modelle lediglich, ob die im Programm explizierten Annahmen ausreichen, um ein bestimmtes Explanandum zu produzieren und damit zu erklären. Diese Art von Simulationen versucht also *nicht* quantitative Prognosen zu liefern (eben daher erklärt sich der Begriff „*qualitative* Simulation“). Damit entfallen bei diesem Simulationstyp zum größten Teil auch die notorischen Probleme der Validierung quantitativer „Resultate“ von Computersimulationen (vgl. Stanislaw 1986).

### III. Das Mißverständnis der Computersimulation als Prognoseinstrument

Die überwiegende Rezeption der Computersimulation in Form der System-Dynamics-Modelle hat dazu geführt, daß die prinzipiellen Einsatzmöglichkeiten von Simulationen in den Sozialwissenschaften falsch eingeschätzt werden. Simulationen werden (in den Sozialwissenschaften) nahezu ausschließlich als Prognosewerkzeuge wahrgenommen (z.B. Phillips 1985, S. 378). Die damit verbundenen Erwartungen müssen von fast allen Modellen enttäuscht werden: Mit der wichtigen Ausnahme von Mikrosimulationsmodellen für praktische Fragestellungen gibt es für den Einsatz von Simulationen zu Prognosezwecken in der Soziologie keine theoretische Grundlage.

Ohne bewährte Theorien ist die Konstruktion eines Simulationsmodells zu Prognosezwecken sinnlos. Da es solche bewährten Theorien in der Soziologie zumindest

---

Joachim Merz und Hermann Quinke (1986), Helmut Vetterle (1986), Robert H. Haveman (1986). In der Bundesrepublik ist insbesondere das Modell des SFB3 in Frankfurt bekannt geworden, vgl. hierzu das „Handbuch zum Mikrosimulationsmodell“, herausgegeben vom Projekt B-3 „Mikrosimulation“ des SFB3.

13 Selbstverständlich gibt es auch hier Ausnahmen. Ein ungewöhnliches Beispiel stellt die Untersuchung der Größe paläolithischer sozialer Gruppen durch Martin Wobst (1974) dar.

für Makrophänomene nicht gibt – und mit guten Argumenten deren prinzipielle Existenzmöglichkeit bestritten werden kann (Popper 1971; Boudon 1983) – sind quantitative Simulationen sozialer Prozesse daher (zumindest für lange Zeit) in den Sozialwissenschaften nur in wenigen Ausnahmefällen möglich.

Damit stellt sich auch das häufig von Modellkonstruktoren diskutierte Problem der Schätzung von Parametern der Gleichungen in der Simulation neu: Die Frage der empirischen Schätzung von Parametern läßt sich natürlich erst dann sinnvoll stellen, wenn man davon ausgehen kann, daß der die Beobachtungen vermutlich generierende Prozeß hinreichend genau spezifiziert wurde. Aus diesem Grund ist der Einsatz von quantitativen Simulationen zu Prognosezwecken (jenseits von Diffusions- und Warteschlangenmodellen und der Mikrosimulation) kaum zu rechtfertigen.

Obwohl diese Tatsachen noch nicht von allen Konstrukteuren quantitativer Makrosimulationsmodelle in allen Konsequenzen akzeptiert worden sind, läßt sich in der Literatur eine eindeutige rückläufige Tendenz von Simulationen zu Prognosezwecken beobachten. Dies zeigt sich z.B. beim Rückgang der Anzahl von Weltmodellen. Richard D. Duke und Nicole K. Kemeny (1989, S. 167) stellen fest, daß die Entwicklung und weite Verfügbarkeit von Computern zunächst zwar zur Ausbildung eines neuen Bereiches sozialwissenschaftlicher Simulation zu Prognosezwecken führte, aber in den letzten beiden Jahrzehnten wieder verkümmerte: „Efforts at predictive simulation are now rare in the people-oriented social sciences.“<sup>14</sup>

#### IV. Einwände gegen die Verwendung von Simulationen

Die relativ seltene Verwendung von Simulationen in den Sozialwissenschaften wird häufig durch den Verweis auf eine Reihe von angeblichen Problemen der Verfahren gerechtfertigt.

Ein häufig geäußelter Einwand gegen die Verwendung von Simulationen besteht darin, daß die soziologischen Theorien zu komplex seien, um mit den verfügbaren Methoden simuliert werden zu können. Gegen dieses Argument spricht, daß die „Komplexität“ soziologischer Theorien fast immer entweder auf die Verwendung undefinierter bzw. zirkulär definierter Begriffe oder auf die Anwendung impliziter Gesetze zurückgeführt werden kann – was beides nicht im Sinne der Produktion überprüfbarer Aussagen liegt. Eine aus der Beschreibung eines kausalen Prozesses bestehende Theorie kann immer in eine Simulation überführt werden. Das Problem der „nicht-simulierbaren“ soziologischen „Theorien“ besteht also darin, daß durch sie kein kausaler Prozeß beschrieben wird; zumindest hier wird dies als Mangel der Theorie und nicht der Technik gesehen.

Ein anderer Einwand gegen die Verwendung von Computersimulationen besteht in der Feststellung, daß Simulationen lediglich „Lösungen“ für bestimmte Parameterkombinationen der verwendeten Gleichungen liefern können, aber keine so allgemei-

14 Obwohl DYNAMO als Sprache für quantitative Makrosimulationen konstruiert ist, läßt sich auch bei der kürzlichen Wiederentdeckung DYNAMOs für die Sozialwissenschaften durch Robert A. Hanneman (1988) nur ein expliziter Bezug auf Simulationen als Hilfsmittel der Theoriekonstruktion und nicht auf den Versuch der Prognose realer Prozesse finden.



ne Lösungen wie die mathematische Analyse eines Modells. Dies ist zwar korrekt, trifft die Anwendung von Simulationen aber kaum. Es gibt für die meisten nicht-trivialen inhaltlichen Theorien kein mathematisches Modell, das eine analytische Lösung erlauben würde.

Die Anzahl mathematisch formulierter Theorien ist im Vergleich zu dem, was allgemein als „soziologische Theorie“ bezeichnet wird, gering. Eine Aufgabe für Soziologen besteht zur Zeit darin, die überaus unvollständigen Theorien des Faches zu überhaupt formalisierbaren Theorien zu präzisieren. Da Computersimulationen auf einfachere Weise als mathematische Modelle die Formalisierung einer Theorie erlauben, können sie bei diesen Präzisierungsversuchen hilfreich sein. Wenn die Formalisierung als Computersimulation vorliegt, ist die Suche nach einem entsprechenden mathematischen Modell mit analytischer Lösung noch immer sinnvoll. In vielen Fällen ist aber eine analytische Lösung eines mathematischen Modells einer inhaltlichen Theorie, die z.B. nicht-lineare Beziehungen, Störeffekte oder nicht-triviale Verteilungsannahmen enthält, schwierig, meist zumindest praktisch unmöglich. Solche Modelle können ohne Simulationen nicht untersucht werden.

Schließlich werden gegen die Verwendung von Simulationen in Sozialwissenschaften (zumindest in Diskussionen, wenn auch kaum in der Literatur) eher technische Argumente vorgebracht: Es gäbe keine geeigneten Simulationswerkzeuge oder der Aufwand, diese zu erlernen, sei zu groß, und die Programme seien Nicht-Experten nicht verständlich zu machen. Wie im Folgenden gezeigt werden soll, ist keiner dieser Einwände in dieser Form korrekt.

Spezielle Simulationssoftware existiert seit mehr als 20 Jahren. Die wesentlichen Strukturen dieser Art von Software haben sich kaum geändert (vgl. Kreutzer 1986 sowie Neelamkavil 1987). Bemerkenswerterweise werden diese Simulationssysteme aber – zumindest in den Sozialwissenschaften (mit der Ausnahme von DYNAMO) – kaum genutzt (Starbuck 1983, S. 163). Darüberhinaus werden fast alle technischen und die meisten neueren sozialwissenschaftlichen Simulationen in einer allgemein verfügbaren Hochsprache wie FORTRAN, PASCAL, LISP oder PROLOG geschrieben.

Ein wichtiger Grund für die Verwendung von allgemeinen Hochsprachen liegt in der Tatsache begründet, daß es kein Simulationsprogramm geben kann, das nicht mittels der Hochsprachen realisiert werden kann,<sup>15</sup> während die Spezialsoftware die Klasse möglicher Modelle häufig sehr stark einschränkt. So erscheint es in einem DYNAMO-Modell nahezu unmöglich, z.B. kognitive Schemata unterzubringen, und nur äußerst umständlich möglich, die einfache Tatsache zu berücksichtigen, daß für eine Fortpflanzung zumindest für kurze Zeit räumliche Nähe der Akteure erforderlich ist.

Die elementaren Grundlagen einer Sprache wie PASCAL, die notwendig sind, um einfache Programme lesen zu können, sind in sehr kurzer Zeit erlernbar. Die notwendige Lerndauer liegt mit Sicherheit unterhalb der entsprechenden Dauer für den Er-

15 So enthält Zwicker (1981, S. 548ff.) Hinweise für FORTRAN-Programme zu System-Dynamics-Modellen, Hans Rauch (1985) gibt eine vollständige DYNAMO-Bibliothek in TURBO-PASCAL, Kreutzer (1986) enthält eine Sammlung von Pascal-Hilfsprogrammen für eine große Zahl unterschiedlicher Simulationstypen und Ruth Davies und Robert O'Keefe (1989) zeigen die Programmierung von „Discret-Event-Modellen“ mit PASCAL.

werb der Fähigkeiten für das Verständnis von Differentialgleichungen oder phänomenologischen Texten.

Da fast alle sozialwissenschaftlichen Simulationen vom Standpunkt der Informatik eher trivial sind, erscheint es jedoch im Interesse einer weiten Rezeption von Simulationen ebenso notwendig wie mittlerweile auch technisch möglich, Simulationsprogramme so zu schreiben, daß sie auch weitgehend *ohne* Programmierkenntnisse verstanden werden können. Die Entwicklung einiger der neueren Hochsprachen erlaubt eine Programmierung, die sich sehr nahe an die Alltagssprache anlehnt.

In PASCAL kann man z.B. die Handlungsmöglichkeiten eines Akteurs einer Assimilationstheorie schon beinahe umgangssprachlich mit

```
Type Handlungstyp_Migrant = (Assimilation,Segmentation);
```

wiedergeben, und die „Bestandteile“ des Akteurs, also seine Handlungsmöglichkeiten, und die Elemente seiner Nutzenfunktion mit den Anweisungen

```
Type
```

```
  Migrant = Record
```

```
    Handlung           : Handlungstyp_Migrant;
```

```
    Utility_Materiell   : Real; { reelle Zahl }
```

```
    Probability_Utility : Real;
```

```
    Cost_Materiell      : Real;
```

```
    Probability_Cost    : Real;
```

```
  end;
```

angeben. Den größten Teil bei den aktorsbasierten Simulationsmodellen soziologischer Theorien nehmen solche Spezifikationen der Akteurstypen ein. Die eigentliche Dynamik des Modells wird demgegenüber meist durch nur wenige Programmzeilen bewirkt. Beispielsweise läßt sich bei einer Simulation von Reinhard Wipplers (1982) Rekonstruktion der Oligarchietheorie von Michels die Dynamik des Modells durch ca. ein Dutzend Zeilen PASCAL bewirken. Zwei „typische“ davon seien wiedergegeben:

```
probability_change_own_contribution:=1/number_of_members;
```

```
probability_change_votes:=actives/number_of_members;
```

Die subjektive Wahrscheinlichkeit, durch einen eigenen Beitrag etwas bewirken zu können, wird für alle Akteure gleich des reziproken Wertes der fehlerfreien Wahrnehmung der Anzahl der Mitglieder aufgefaßt und die subjektive Wahrscheinlichkeit, die abgegebenen Stimmen zu verändern, wird für alle Akteure gleich dem Quotienten zwischen der fehlerfrei wahrgenommenen Anzahl der aktiven Mitglieder und der fehlerfrei wahrgenommenen Anzahl aller Mitglieder gesetzt.

Zum Verständnis dieser Programmzeilen sind spezielle Kenntnisse jenseits der Definition der Variablen offensichtlich nicht erforderlich.

Zusammenfassend erscheinen die dargestellten Einwände gegen die Verwendung von (qualitativen) Simulationen als kaum haltbar. Damit ist allenfalls aber noch das Argument möglich, daß Simulationen zwar gegenüber den normalen Formen theoretischer Arbeit in den Sozialwissenschaften keine besonderen Nachteile, aber auch keine besonderen Vorteile aufweisen. Der ausführlichen Widerlegung dieses Argumentes sind die folgenden Abschnitte gewidmet.

### V. Vorteile von Computersimulationen

Computersimulationen werden häufig als drittes Symbolsystem neben der Alltagssprache und der Mathematik bezeichnet (vgl. z.B. Gullahorn und Gullahorn 1965; Ostrom 1988). In Simulationsprogramme übersetzte Theorien sind präziser als es Alltagssprache sein kann. Andererseits sind Simulationen flexibler als es mathematisch formalisierte Theorien sein können. Die Präzision wird durch die Syntax der verwendeten Programmiersprache erzwungen: Eine ungenaue, widersprüchliche oder unvollständige Theorie läßt sich nicht ohne Präzisierung in ein funktionierendes, d.h. zunächst einmal syntaktisch korrektes, dann aber auch die gewünschte Dynamik hervorbringendes, lauffähiges Programm übersetzen.

Bei den zumeist ungenauen soziologischen Theorien<sup>16</sup> führt dieser Zwang zur Präzision dazu, daß die Theorien vor der Simulation meist erst „rekonstruiert“ werden müssen. Technisch besteht die fast immer notwendige „Rekonstruktion“ einer soziologischen Theorie für eine Simulation aus der „Prozessionalisierung“ der Theorie (Lindenberg 1971, S. 99). Die in der Regel nicht als Modell eines kausalen Prozesses formulierten sozialwissenschaftlichen Theorien werden hierbei durch partielle Definitionen der Begriffe der Theorie (z.B. „Konflikt“ oder „Status“) durch einen Prozeß simulierbar gemacht. Die zunächst als abkürzende Sprechweisen eingeführten theoretischen Begriffe werden so auf „direkt“ beobachtbare individuelle Vorgänge zurückgeführt.

Der Zwang zur Präzision bei der Erstellung eines Simulationsprogrammes äußert sich vor allem in der Notwendigkeit, alle theoretischen Annahmen explizit angeben zu müssen. Diese Notwendigkeit führt bei jeder Programmierung einer Simulation zur Entdeckung von Wissenslücken. Diese Wissenslücken werden meist über plausibel erscheinende, meist neue theoretische Annahmen überbrückt. Sehr häufig stellt man fest, daß die von einer Theorie behaupteten Konsequenzen nur beim Vorliegen bestimmter dieser bisher nicht explizit genannten zusätzlichen Annahmen auftreten und selbst dann nur bei bestimmten Parameterwerten. Gerade dieser Aspekt der notwendigen Explizierung impliziter Annahmen ist einer der größten Vorteile von Simulationen.

Die Parameter in sozialwissenschaftlichen Simulationen können nur selten (z.B. bei einigen Mikrosimulationen, ökonomischen Makromodellen und der Modellierung von Diffusionsprozessen) auf der Basis empirischer Daten geschätzt werden. Bei den allermeisten theoretischen Modellen muß man auf Verteilungsannahmen zurückgreifen. Diese können – außer in trivialen Fällen (z.B. Gleichverteilung) – in ihren Konsequenzen meist weder analytisch noch „intuitiv“ abgeschätzt werden. Falls man an den impliziten Konsequenzen der eigenen theoretischen Annahmen interessiert ist, gibt es spätestens dann zur Abschätzung von Verteilungsannahmen keine Alternative zur Simulation.

Enthält ein Modell Verteilungsannahmen über Zufallsvariablen und/oder nicht-lineare Beziehungen, dann ist das Verhalten einer solchen Simulation in allen Details

16 Wie z.B. noch neuerdings Gerhard Lenski (1988, S. 166) feststellt, genügen ein Großteil soziologischer (Makro-)Theorien noch nicht einmal den Minimalstandards einer Theorie („Unambiguous concepts, specified relationships and falsifiable theory“).

kaum vorhersagbar. Es kann dann bei der Durchführung der Simulation zur Entdeckung unerwarteter Effekte kommen.<sup>17</sup> Neben den Vorzügen der Formalisierung besitzen Simulationen also auch heuristische Funktionen.

Ein Beispiel hierfür haben kürzlich Gerald Marwell, Pamela E. Oliver und Ralph Prahl (1988, S. 527f.) mit ihrer Simulation der Bedeutung sozialer Netzwerke für die Entstehung kollektiver Bewegungen geliefert. Die Autoren stießen auf Ergebnisse in ihrer Simulation, die sie durch ihre theoretischen Vorstellungen nicht erklären konnten. Sie fanden z.B., daß der negative Einfluß der Organisationskosten für den Organisator einer potentiellen Bewegung auf die Herstellung des kollektiven Gutes sehr stark abnimmt, falls die Heterogenität der Ressourcen der Netzwerkmitglieder steigt.

Obwohl die Literatur in keiner Weise auf den Mechanismus einging, mit dem ein Organisator potentielle Aktivisten auswählt, mußte das Simulationsprogramm, um zu funktionieren, einen solchen Mechanismus enthalten. Da beim Programmieren offensichtlich eine reine Zufallsauswahl der potentiellen Aktivisten unwahrscheinlich erschien, wurde ein Mechanismus implementiert, bei dem der Organisator diejenigen Personen auswählt, die über die größten Ressourcen verfügen. Dieser Selektivitätsmechanismus produziert das Ergebnis, daß ein Organisator mit begrenzten Ressourcen einen größeren Ertrag bei der Produktion des kollektiven Gutes erzielen kann, wenn sein persönliches Netzwerk groß und die Ressourcen der Mitglieder des Netzwerkes (bei konstantem Mittelwert) heterogen sind.

Die Simulation erzwingt also hier die Konstruktion einer neuen, theoretisch fruchtbaren Hypothese über das Verhalten der Organisatoren. Der hierbei spezifizierte Mechanismus führte zu der Entdeckung (und Erklärung) eines bis dahin unbeachteten Effektes.

Ein weiterer Nebeneffekt der Formalisierung einer Theorie als Computerprogramm besteht darin, daß man eine äußerst knappe, wenig redundante und hochpräzise Zusammenfassung einer Theorie erhält. Um sich die Grundidee einer Theorie anzueignen, ist die Lektüre eines kommentierten Programmes in einer Programmierhochsprache ein effizienter Weg. Die Simulation bietet also hier (neben der eindeutigen Definition aller Begriffe) auch einen Kommunikationsvorteil. Ein vollständiges Simulationsprogramm kann auch als eine kompakte Form der Vermittlung der Dynamik eines Prozesses betrachtet werden: Die verbalen Beschreibungen selbst einfacher dynamischer Prozesse sind meist langatmig. Das Betrachten des Verlaufs der Dynamik eines zur Verfügung stehenden Simulationsprogrammes ist demgegenüber bei nicht vollständig trivialen Modellen weitaus klarer, einfacher und schneller. Schließlich ist ein im Programmtext vorliegendes Simulationsprogramm die beste Grundlage für die theoretische konstruktive Kritik einer Theorie: Alle Annahmen sind explizit vorhanden, es gibt keine verdeckten *ceteris-paribus*-Klauseln, keine in Fußnoten vorbereiteten Exhaustionsmöglichkeiten oder unklar definierte Begriffe, zumindest nicht bei auf individuellen Akteuren basierenden Modellen.<sup>18</sup>

17 Allerdings wird die Entscheidung, ob das unerwartete Verhalten eines Simulationsprogrammes ein Theoriefehler, ein Programmierfehler oder tatsächlich eine bislang übersehene Konsequenz der Annahmen darstellt, umso schwieriger, je umfangreicher das Programm wird. Dies ist eine von mehreren Ursachen für die Unmöglichkeit der „Validierung“ von so umfangreichen Simulationsprogrammen wie z.B. dem GLOBUS-Weltmodell.

18 Bei Makrosimulationen, z.B. mit DYNAMO, sind allerdings auch unklare Begriffe möglich, vgl. als abschreckendes Beispiel die Dynamo-Simulation von Richard Bronson und Chano Jacobson (1986, S. 61) zur „normativen Regulierung“ mit Variablen wie z.B. „Exogenous forces that create strain between the norm and social reality“.

Zusammengefaßt: Die Vorteile von Simulationen liegen in der Möglichkeit:

- der Professionalisierung,
- des Nachweises der Vollständigkeit der Theorie,
- der Analyse beliebig komplizierter nicht-linearer Modelle,
- der Entdeckung unerwarteter Konsequenzen theoretischer Annahmen,
- der Überprüfung der Konsequenzen von Verteilungsannahmen,
- von Kommunikationsvorteilen,
- der leichten Kritisierbarkeit.

### *VI. Simulation individueller Akteure zur Erklärung von Makrophänomenen*

Wie sich auch an anderen Stellen der Theoriebildung in den Sozialwissenschaften zeigt (z.B. Esser 1989), ist (zumindest derzeit) eine fruchtbare theoretische Arbeit ohne den Rückgriff auf das Handeln individueller Akteure kaum möglich. Dies wird bei jedem Versuch deutlich, sozialwissenschaftliche Theorien über Makrophänomene zu formalisieren. Da bislang keine gehaltvollen makrostrukturellen Gesetze in der Soziologie bekannt sind,<sup>19</sup> erscheint die Erklärung sozialwissenschaftlicher Explananda ohne explizite Modellierung der Interaktion individueller Akteure unmöglich. Vollständige Erklärungen von Makrophänomenen in den Sozialwissenschaften müssen genetische Erklärungen<sup>20</sup> sein, die aus drei verschiedenen Elementen bestehen (vgl. Esser 1989, S. 70-71):

1. einem nomologischen Kern (einer Rational-Choice-Theorie),
2. der Angabe der Randbedingungen für die Erklärung des individuellen Handelns der Akteure (einer Lösung des „Koordinationsproblems“),
3. der Angabe der Aggregierungsregeln, die die Entstehung des Makrophänomens aus dem individuellen Verhalten erklären (einer Lösung des „Transformationsproblems“).

Für die soziologische Theorie fruchtbare Simulationen sozialer Sachverhalte sind daher (zumindest zur Zeit) nur als Modelle mit simulierten individuellen Akteuren sinnvoll. Durch die Simulation individueller Akteure kann wie bei einem Demonstrationsbeispiel gezeigt werden, welche Annahmen über das Handeln individueller Akteure welche (kollektiven) Konsequenzen haben (Abelson 1968, S. 326). Durch diesen Versuch der Nachbildung des durch das Handeln von Individuen verursachten Makrophänomens gehen qualitative Simulationen über die bloße logische Prüfung von Ableitbarkeitsbeziehungen in Satzsystemen hinaus.<sup>21</sup> Damit wäre zwar der Begriff „Simulation individueller Akteure zur Erklärung von Makrophänomenen“ zur Kennzeichnung

19 Vgl. Siegwart Lindenberg (1981, S. 20). Bemerkenswerterweise bedienen sich selbst die Lehrbücher der Makrosoziologie zumindest implizit handlungstheoretischer Annahmen, wenn auch selten so deutlich wie bei Stephen K. Sanderson (1988, insbesondere S.48-52).

20 Die Begriffe „Theorie“, „Erklärung“, „vollständige Erklärung“, „genetische Erklärung“ und „Randbedingung“ werden hier in Übereinstimmung mit dem allgemeinen Gebrauch in der Wissenschaftstheorie verwendet; Definitionen und Erläuterungen der Begriffe finden sich z.B. bei Schnell, Hill und Esser (1989, S.41 ff.).

21 Solche logischen Prüfungen von Ableitbarkeitsbeziehungen durch die Verwendung von sogenannten „Expertensystemen“ demonstriert Edward E. Brent (1986) unter der etwas ungewöhnlichen Bezeichnung „qualitativer Formalismus“.

solcher Modelle exakter, aber auch sehr unhandlich, so daß der Begriff „qualitative Simulation“ hier beibehalten wird.

Die Notwendigkeit der Modellierung individueller Akteure findet sich selbst in neueren, in keiner Weise mehr auf Prognosen angelegten „Weltmodellen“ oder Regionalmodellen, die z.B. sogar detaillierte Konzepte der Cognitive Science, nämlich Schematheorien (Brewer und Nakamura 1984), für die Modellierung ihrer Akteure heranziehen.<sup>22</sup>

Sanjoy Banerjee (1986) verwendet im Rahmen eines PROLOG-Programmes Schemata-Konzepte zur Klärung der Entstehung „sozialer Strukturen“. Banerjee definiert „Sozialstruktur“ als Muster von Wiederholungen sozialer Handlungen. Um wiederholbar zu sein, müssen laut Banerjee die Muster sozialer Handlungen als kognitive Schemata gespeichert sein. Akteure suchen in sozialen Situationen nach einem passenden Schema und führen es dann aus. Banerjee wendet sein Simulationsprogramm dann aber lediglich auf korporative Akteure an und versucht so die Entstehung von Interaktionsmustern zwischen ihnen zu erklären. Als Beispiele verwendet er z.B. die südamerikanische „bürokratisch-autoritäre Struktur“ mit dem Militär, den Technokraten, der Mittelklasse, dem Finanzkapital und der Öffentlichkeit („popular sector“) als Akteuren.

Philip A. Schrodtt (1985 und 1988) arbeitet mit einem kleinen Simulationsprogramm (ca. 800 Zeilen PASCAL) für die Analyse internationaler Beziehungen. Schrodtt greift die häufige Kritik an den ohne Akteure arbeitenden Weltmodellen auf und versucht explizite Entscheidungsmodelle in sein Simulationsprogramm einzubauen.<sup>23</sup> Da ihm das Modell des homo oeconomicus (in seiner Rekonstruktion) unrealistisch erscheint, verwendet er 1985 einen Pattern-matching-Ansatz, bei dem korporative Akteure zwischen verschiedenen ähnlichen Handlungssequenzen die einer Situation ähnlichste wählen; 1988 verwendet er eine Entscheidungsregel, bei der die simulierten Nationen zwischen (eigenen und beobachteten) Handlungssequenzen nach einer Maximierungsregel des erwarteten Nutzens der Verwendung einer Strategie wählen. Obwohl Schrodtt selbst keinen expliziten Bezug auf Schema-Theorien nimmt, bestehen zwischen seinem Modell und einer lediglich auf korporative Akteure übertragenen Skript-Theorie (wie z.B. von Abelson 1981) große Ähnlichkeiten.

Ansätze zur Simulation sozialer Systeme durch die Konsequenzen der Interaktion von Individuen scheinen in anderen Fachgebieten zumindest derzeit technisch weiter entwickelt zu sein als in der Soziologie (vgl. Hogeweg 1989). Die Resultate solcher nicht-soziologischen Arbeiten legen es ebenso wie die bereits zitierten Ansätze zur Erklärung von „Sozialstruktur“ nahe, daß viele Makrophänomene möglicherweise wesentlich leichter erklärbar sind, als es Soziologen zunächst scheinen mag. So finden sich z.B. in einer Arbeit von P. Hogeweg und B. Hesper (1985, S. 328) mit einem LISP-basierten Simulationssystem bei der Untersuchung der Sozialbeziehungen von Hummeln folgende bemerkenswerte Sätze:

„The central theme of our research is to show how simple interactions can lead to apparently complex structures. ... In all cases we have shown that the local interactions needed to generate complex patterns are far simpler than we might expect: human intuition about complexity fails

22 Interessanterweise taucht eine Form des Schema-Konzeptes bereits in einer der ersten „qualitativen Simulationen“ auf: Gullahorn und Gullahorn (1965, S. 441) verwenden in HO-MUNCULUS eine sehr einfache Form von Schemata, die allerdings nicht explizit so genannt werden.

23 Ansätze zur expliziten Berücksichtigung von Entscheidungsmodellen für individuelle Akteure in Computersimulationen für Makroprozesse (z.B. in Weltmodellen) finden sich auch bei Paul A. Anderson und Stuart J. Thorson (1982) und bei Donald A. Sylvan (1987).

utterly when faced with a transition from local interactions to the macro structures they generate."

In den Sozialwissenschaften versuchen bisher nur einige Rational-Choice-Modelle, explizite Erklärungen für Makro-Phänomene auf der Basis des Handelns individueller Akteure zu geben. Gerade innerhalb des Rational-Choice-Ansatzes können auf Individuen basierte Simulationen daher eine besondere Rolle spielen.

## VII. Die Verwendung von Computer-Simulationen im Rational-Choice-Ansatz

Die meisten theoriebasierten sozialwissenschaftlichen Simulationen der letzten Jahre weisen eine Reihe von Gemeinsamkeiten auf: Sie sind in einer allgemeinen Programmiersprache geschrieben, sie versuchen keine Parameterschätzungen, sie gehen von einem inhaltlichen Problem und nicht von der Methode aus und sie arbeiten mit der Modellierung individueller Akteure, wenn auch manchmal nur in rudimentärer Form.

Beispiele sind die Simulationen bei Robert Axelrod (1987) zur Entstehung von Kooperation, James S. Coleman (1986/1987) und Axelrod (1986) zur Normentstehung, Barry Markovsky (1987) und Karen S. Cook, Richard M. Emerson und Mary R. Gillmore (1983) zur Austauschtheorie in Netzwerkstrukturen, Michael A. Krassa (1988) zur Veränderung öffentlicher Meinung, John Delany (1988) zu Weak-Ties bei der Jobsuche, William E. Feinberg und Norris R. Johnson (1988) zur Konsensusbildung bei Menschenansammlungen, Garold Strasser (1988) zur Entscheidungsfindung in Gruppen sowie Marwell, Oliver und Prahl (1988) zur Entstehung von kollektiven Bewegungen.

Der explizite Bezug vieler Modelle auf Rational-Choice-Ansätze (bzw. zumindest ihre konzeptionelle Nähe) ist unverkennbar. Dies scheint z.T. darauf zurückzuführen zu sein, daß die Lösung des Koordinationsproblems, also die Verwendung eines kollektiven Tatbestandes als Anfangsbedingung für das Handeln der individuellen Akteure (das „Korrespondenzproblem“ bei Lindenberg 1977), mit Rational-Choice-Modellen im Vergleich zu anderen Handlungstheorien einfacher ist, da mit wenigen, stark typisierten Akteursmodellen argumentiert werden kann. Bei Umsetzung der Theorie in das Simulationsprogramm müssen die bei der normalen verbalen Theoriebildung meist nur angedeuteten „Brückentheorien“ (Lindenberg 1981, S. 27) explizit angegeben werden: Beispielsweise gehören hierzu Annahmen über vollständige Information oder den Nutzen internalisierter Normen. Bei stark typisierten Akteuren können diese notwendigen Brückenhypothesen vergleichsweise einfach bleiben.

Computersimulationen können mit einer Population aus vielen individuellen Akteuren arbeiten, wie dies ja schon bei den Mikrosimulationsmodellen festgestellt wurde. Verwendet man aber im Gegensatz zu den weitgehend untheoretischen Mikrosimulationsmodellen durch eine explizite Theorie *stark typisierte Akteure*, so werden „experiment-ähnliche“ Untersuchungen auch der Makroauswirkungen von den fast immer impliziten Verteilungsannahmen soziologischer Theorien möglich.

Die starke Typisierung der simulierten Akteure erlaubt die Beschränkung der Nutzenfunktion der Akteure auf nur wenige Elemente, während die hohe Zahl von Akteuren das Testen der Auswirkungen unterschiedlicher Verteilungsannahmen für die Elemente der Nutzenfunktion ermöglicht. Erfahrungsgemäß sind in vielen Akteurs-

modellen diese Verteilungsannahmen kritisch, d.h. unterschiedliche Verteilungen von Bestandteilen der Nutzenfunktionen der Akteure erbringen unterschiedliche kollektive Effekte. So kann z.B. die Verwendung unterschiedlicher Annahmen über die Streuung subjektiver Wahrscheinlichkeiten zum Ausbleiben eines Makro-Effektes führen (Granovetter 1978). Da kaum eine soziologische Theorie diese Verteilungsannahmen expliziert, die Simulation aber die Spezifizierung der Verteilung zwingend erfordert, ist die Simulation ein Weg, diese fehlenden Annahmen zu entdecken und (möglicherweise kritische) Annahmen zu identifizieren.

Die Erklärung von Makrophänomenen durch das Handeln stark typisierter Akteure ist Ziel soziologischer Anwendungen von Rational-Choice-Modellen (vgl. u.a. Friedman und Hechter 1988). Vollständige Rational-Choice-Erklärungen für kollektive Effekte müssen dazu in irgendeiner Art und Weise das Transformationsproblem (Lindenberg 1977) lösen, also eine Klärung des Überganges von individuellen Effekten zu kollektiven Tatbeständen liefern. Simulationen müssen also eine der Möglichkeiten enthalten, das Transformationsproblem zu lösen. Lindenberg (1977) führt hierzu u.a. die Möglichkeit der Verwendung von Aggregationen, partiellen Definitionen und von Implikationsaussagen, institutionellen Regelungen (z.B. Wahlprozeduren) und mathematischen Modellen (z.B. Diffusionsmodellen) an. Simulationen bieten dabei die einfache Möglichkeit, unterschiedliche Lösungsversuche (z.B. unterschiedlicher Diffusionsmodelle) für ein gegebenes Problem „experiment-ähnlich“ zu untersuchen. Damit können in Simulationen verschiedene Möglichkeiten der theoretischen Lösung des Transformationsproblems erprobt werden. Zumindest aber wird man bei der Programmierung gezwungen, eine explizite Lösung des Problems anzugeben.

Daß viele neuere Anwendungen von Computersimulationen mit Rational-Choice-Modellen arbeiten (und umgekehrt), erscheint daher nicht verwunderlich: „Emergenzeffekte“ können durch das „Handeln“ stark typisierter (simulierter) Akteure in der Simulation sichtbar gemacht werden. Die Simulation kann auf diese Weise demonstrieren, daß einfache Annahmen über das Handeln von Akteuren ausreichen, um „Emergenzeffekte“ zu erklären. Die erzwungene Vollständigkeit der verwendeten Theorien bei der Modellierung individueller Akteure zur Erklärung von Makrophänomenen erfordert also nicht nur explizite Annahmen über individuelles Verhalten, sondern auch explizite Lösungen des Transformationsproblems und des Koordinationsproblems.

### VIII. Simulationen als Werkzeuge der Theoriebildung

Die Entwicklung soziologischer Theorien<sup>24</sup> kann allgemein als stagnierend angesehen werden. Die einzige Ausnahme hiervon scheint derzeit der Rational-Choice-Ansatz

24 Um dem Eindruck des Etikettenschwindels vorzubeugen, ist es vermutlich angebracht, unter „Theorie“ weiterhin nur Satzsysteme zu verstehen, die als Explanans in deduktiv-nomologischen Erklärungen verwendet werden können. Daß zwischen solchen im Idealfall formalisierten „erklärenden“ Theorien einerseits und den meist in den Sozialwissenschaften als „Theorien“ bezeichneten Gebilden mehr Unterschiede bestehen als rein semantische Differenzen in Hinsicht auf den Theoriebegriff, wird selbst bei dem meist dagegen zitierten Paul Feyerabend in seiner Kritik der „Rezeption“ des „Anything goes“ deutlich („und



zu sein. Zu den Kennzeichen des Ansatzes gehören einfache, aber vollständig spezifizierte Modelle. Wie fruchtbar einfache Modelle sein können, zeigt z.B. das Schelling-Modell der Entstehung von Segregation (Schelling 1971; Jones 1985) oder die – im Prinzip<sup>25</sup> – schlichten Simulationen des iterierten Prisoner Dilemmas.

Gerade die Rekonstruktion einer verbalen soziologischen Theorie als Simulationsmodell zeigt jedoch deutlicher als jede Diskussion die relative Trivialität der meisten sozialwissenschaftlichen Theorien. Die Kargkeit der Theorien der allgemeinen Soziologie zeigt sich selbst bei den wenigen explizit theoriegeleiteten DYNAMO-Modellen schon in der Kürze der Programme: Hannemans Pareto-Zyklus-Modell gesellschaftlicher Dynamik besteht ebenso wie sein Marx-Modell der kapitalistischen Produktionsweise aus jeweils insgesamt knapp 60 Zeilen. Dies ist vielleicht ein weiterer Grund dafür, daß sich Simulationen als Darstellungsform für Theorien kaum durchsetzen konnten: Einem kurzen Simulationsprogramm sieht man die – selbst gegenüber einem einfachen Warteschlangenmodell – vergleichsweise geringe Komplexität rasch an, einem entsprechenden Text meist erst nach längerer Analyse. Diese Sichtbarkeit der geringen Komplexität der verwendeten Theorien, die Willkürlichkeit der notwendigen Setzung der Parameter im Programm und der ad-hoc-Charakter vieler zusätzlicher Annahmen, die notwendig sind, um aus den unvollständigen Theorien überhaupt funktionierende Simulationsprogramme zu erhalten, scheinen auch ein Grund dafür zu sein, daß der Text der Simulationsprogramme kaum jemals veröffentlicht wird, auch wenn von „Ergebnissen“ von Computersimulationen berichtet wird.

So veröffentlichte William S. Bainbridge (1987) eine Sammlung von Simulationsprogrammen zu sozialwissenschaftlichen Theorien (nicht aber den Programmtext). Obwohl Bainbridge ganz offensichtlich z.T. Innovationen einführt (z.B. beschreibt eine seiner Simulationen die Entstehung devianter Subkulturen durch das gemeinsame Wirken einer Reihe von sonst isoliert betrachteten Mechanismen wie differentielle Assoziation, Balancetheorie und Netzwerkstruktur), kennzeichnet er seine Modelle lediglich als Lernprogramme für Soziologiestudenten. Zusammen mit der Nichtveröffentlichung der Programmtexte wird so die Möglichkeit einer direkten Kritisierbarkeit der Theorien und deren Weiterentwicklung unnötig verhindert.

Gerade die zumeist sorgsam verborgene Trivialität der meisten etablierten Theorien erfordert für eine theoretische Weiterentwicklung vorhandener Ansätze die individualistische Rekonstruktion der vorhandenen Theorien. Ohne das Eingeständnis der Einfachheit der Theorien, der expliziten Feststellung ihrer äußerst engen Anwendungsbereiche und damit letztlich des Eingeständnisses der sozial-technologischen Unverwertbarkeit kann es keine theoretische Weiterentwicklung durch Detailkritik geben.<sup>26</sup> Keine Methode der Theoriekonstruktion (oder auch der Datenanalyse) kann ohne theo-

---

daß es daher nötig ist, über die arrogante Forderung nach größerer Liberalität hinaus doch noch etwas mehr zu bieten. Die Fallstudien zeigen dann, daß Rebellen in den Wissenschaften ja auch wirklich mehr geboten haben“, Feyerabend 1989, S. 417).

25 Die Programme von Axelrod sind bisher unveröffentlicht, den Publikationen von Axelrod sind nur für die einfachsten Strategien genügend Informationen für eine Rekonstruktion zu entnehmen. Theoretische Analysen komplizierterer Strategien sind aber ohne ihre Kenntnis trivialerweise völlig unmöglich. Axelrod stellt auf persönliche Anfrage das undokumentierte Fragment eines Fortran-Programmes, dem die Strategien zu entnehmen sind, zur Verfügung.

26 „Was uns not tut, ist äußerste intellektuelle Ehrlichkeit, auch die selbstbezüglichende Ehrlichkeit, das zuzugeben, was offen zutage liegt“ (Homans 1972, S.96).

retische Kleinarbeit „automatisch“ zu *theoretischen* Fortschritten führen, wie dies die frühen System-Dynamics-Ansätze nahelegten. Diese theoretische Kleinarbeit kann durch qualitative Computersimulationen als Werkzeuge wesentlich erleichtert werden.

Computersimulationen als – im doppelten Sinne – Forschungsprogramme finden sich bisher nicht in der soziologischen Theorie. Daß eine solche Strategie Erfolg versprechen kann, zeigt das Beispiel der „computational psychology“ innerhalb der Cognitive Science. Bestimmte Probleme, wie z.B. die Erklärung, wie vorhandenes neurophysiologisches und psychologisches Wissen über visuelle Wahrnehmung zu einer tatsächlichen Erklärung der ablaufenden Prozesse zusammengefügt werden können, das Problem des Verstehens natürlicher Sprachen oder Theorien allgemeinen Problemlösungshandelns, werden jeweils im Rahmen von Simulationsmodellen angegangen. Hierbei wird tatsächlich von Beginn an die Theorie als Programm vorgelegt, während nicht als Simulationsprogramm formalisierte Theorien von den Theoretikern der computational psychology als „folk psychology“ abgelehnt werden (Boden 1988).

Mit der Vorlage eines Simulationsprogrammes wird sowohl die innere Widerspruchsfreiheit der Theorie demonstriert wie das prinzipielle Vermögen der vorgeschlagenen Theorie, die behaupteten Folgen (das Explanandum) der theoretischen Annahmen tatsächlich hervorzubringen. Ob die Theorie empirisch „korrekt“ ist (also: ob der durch die Theorie behauptete Mechanismus mit dem „tatsächlichen“ Mechanismus identisch ist), ist ein Problem, das jede andere Art von Theorie auch besitzt (vgl. dagegen z.B. Loeck 1986). Falls aber die Annahmen zur „Produktion“ der gewünschten Folgen (des Explanandums) ausreichen und aus der Theorie neue empirische und nicht-triviale Konsequenzen abgeleitet werden können, die sich empirisch bestätigen lassen, dann ist das erreicht, was sich mit wissenschaftlichen Theorien überhaupt erreichen läßt. Dieses Ziel erscheint aber ohne die Verwendung von formalen Techniken, wie z.B. mikroökonomischer Modelle oder – bei komplizierteren Modellen – der Computersimulation individueller Akteure, als Hilfe bei der Theoriebildung unerreichbar.

### Literatur

- Abelson, Robert P.: Simulation of Social Behavior, in: *Gardner Lindzey und Elliot Aronson* (Hrsg.), *The Handbook of Social Psychology*, Bd. 2, Reading/Mass. 1968, S. 274-356.
- Abelson, Robert P.: The Psychological Status of the Script Concept, in: *American Psychologist*, 36, 1981, S. 715-729.
- Alfeld, Louis A., und Alan K. Graham: *Introduction to Urban Dynamics*, Cambridge/Mass. 1976.
- Alker, Hayward R.: Computer-Simulationen: Unelegante Mathematik und noch schlechtere Sozialwissenschaft?, in: *Manfred E.A. Schmutzer* (Hrsg.), *Mathematische Methoden in der Politikwissenschaft*, München 1977, S. 115-142.
- Anderson, Paul A., und Stuart J. Thorson: Artificial Intelligence based Simulations for Foreign Decision Making, in: *Behavioral Science*, 27, 1982, S. 176-193.
- Axelrod, Robert: An Evolutionary Approach to Norms, in: *American Political Science Review*, 80, 1986, S. 1095-1111.
- Axelrod, Robert: *Die Evolution der Kooperation*, München 1987.
- Bainbridge, William S.: *Sociology Laboratory. Computer Simulations for Learning Sociology*, Belmont 1987.
- Banerjee, Sanjoy: Reproduction of Social Structures: An Artificial Intelligence Model, in: *Journal of Conflict Resolution*, 30, 1986, S. 221-252.
- Bloomfield, Brian P.: *Modelling the World. The Social Constructions of Systems Analysts*, Oxford 1986.

- Boden, Margaret A.: *Computer Models of Mind*, Cambridge 1988.
- Boudon, Raymond: Why Theories of Social Change Fail: Some Methodological Thoughts, in: *Public Opinion Quarterly*, 47, 1983, S. 143-160.
- Bratley, Paul, Bennett Fox und Linus E. Schrage: *A Guide to Simulation*, New York, 2. Aufl. 1987.
- Bremer, Stuart A. (Hrsg.): *The GLOBUS Model. Computer Simulation of Worldwide Political and Economic Developments*, Frankfurt a.M. und Boulder 1987.
- Brent, Edward E.: Knowledge-Based Systems: A Qualitative Formalism, in: *Qualitative Sociology*, 9, 1986, 3, S. 256-282.
- Brewer, William F., und Glenn V. Nakamura: The Nature and Functions of Schemas, in: Robert S. Wyer und Thomas K. Srull (Hrsg.), *Handbook of Social Cognition*, Hillsdale 1984, Bd. 1, S. 119-160.
- Bronson, Richard, und Chanoch Jacobson: Simulation and Social Theory, in: *Simulation*, 47, 1986, 2, S. 58-62.
- Clark, John, und Sam Cole: *Global Simulation Models: A Comparative Study*, New York 1975.
- Cole, Sam: Global Models: A Review of Recent Developments, in: *Futures*, August 1987, S. 403-430.
- Coleman, James S.: The Emergence of Norms in Varying Social Structures, in: *Angewandte Sozialforschung*, 14, 1986/1987, S. 17-30.
- Cook, Karen S., Richard M. Emerson und Mary R. Gillmore: The Distribution of Power in Exchange Networks: Theory and Experimental Results, in: *American Journal of Sociology*, 89, 1983, S. 275-305.
- Davies, Ruth, und Robert O'Keefe: *Simulation Modelling with PASCAL*, New York 1989.
- Delany, John: Social Networks and Efficient Resource Allocation: Computer Models of Job Vacancy allocation through contacts, in: Barry Wellman und Stephen D. Berkowitz (Hrsg.), *Social Structures: A Network Approach*, New York 1988, S. 430-451.
- Dörner, Dietrich: Modellbildung und Simulation, in: Erwin Roth (Hrsg.), *Sozialwissenschaftliche Methoden*, München 1984, S. 337-350.
- Duke, Richard D., und Nicole K. Kemeny: Keeping Score one Score later. Two Decades of the Simulation & Games Journal, in: *Simulation and Games*, 20, 1989, S. 165-183.
- Dutton, John M., und William H. Starbuck: *Computer Simulation of Human Behavior*, New York 1971.
- Esser, Hartmut: Verfällt die „soziologische Methode“?, in: *Soziale Welt*, 40, 1989, S. 57-75.
- Feinberg, William E., und Norris R. Johnson: „Outside Agitators“ and Crowds: Results from a Computer Simulation Model, in: *Social Forces*, 67, 1988, S. 398-423.
- Feyerabend, Paul: *Irrwege der Vernunft*, Frankfurt a.M. 1989.
- Forrester, Jay W.: *Urban Dynamics*, Cambridge/Mass. 1969.
- Forrester, Jay W.: *World Dynamics*, Cambridge/Mass. 1971.
- Freeman, Christopher, und Marie Jahoda (Hrsg.): *World Futures. The Great Debate*, London 1978.
- Friedman, Debra, und Michael Hechter: The Contribution of Rational Choice Theory to Macrosociological Research, in: *Sociological Theory*, 6, 1988, S. 201-218.
- Garson, G. David: *Academic Microcomputing*, Newbury Park 1987.
- Granovetter, Mark: Threshold Models of Collective Behavior, in: *American Journal of Sociology*, 83, 1978, S. 1420-1443.
- Gullahorn, John T., und Jeanne E. Gullahorn: The Computer as a Tool for Theory Development, in: Dell Hymes (Hrsg.), *The Use of Computers in Anthropology*, London 1965, S. 427-448.
- Hanneman, Robert A.: *Computer Assisted Theory Building*, Beverly Hills 1988.
- Harbordt, Steffen: *Computersimulation in den Sozialwissenschaften*, 2 Bde, Reinbek 1974.
- Haveman, Robert, und Kevin Hollenbeck (Hrsg.): *Microeconomic Simulation Models for Public Policy Analysis*, 2 Bde, New York 1980.
- Haveman, Robert H.: Microdata Simulation Modeling after Twenty Years, in: *Evaluation Review*, 10, August 1986, S. 411-433.
- Hogeweg, P., und B. Hesper: Socioinformatic Processes: MIRROR Modelling Methodology, in: *Journal of Theoretical Biology*, 113, 1985, S. 311-330.
- Hogeweg, P.: MIRROR beyond MIRROR, Puddles of LIFE, in: Christopher G. Langton (Hrsg.), *Artificial Life*, Reading/Mass. 1989, S. 297-316.
- Homans, George C.: *Was ist Sozialwissenschaft?*, Opladen, 2. Auf. 1972 (zuerst 1967).
- Hugger, Werner: *Weltmodelle auf dem Prüfstand. Anspruch und Leistung der Weltmodelle von J.W. Forrester und D. Meadows*, Basel und Stuttgart 1974.

- Hughes, Barry B.*: World Models: The Bases of Difference, in: *International Studies Quarterly*, 29, 1985, S. 77-101.
- Jones, Frank L.*: Simulation Models of Group Segregation, in: *The Australian and New Zealand Journal of Sociology*, 21, 1985, S. 431-444.
- Krassa, Michael A.*: Social Groups, Selective Perception, and Behavioral Contagion in Public Opinion, in: *Social Networks*, 10, 1988, S. 109-136.
- Kreutzer, Wolfgang*: *System Simulation: Programming Styles and Languages*, Sydney 1986.
- Lebel, J.D.*: System Dynamics, in: *François E. Cellier* (Hrsg.), *Progress in Modelling and Simulation*, London 1982, S. 119-158.
- Lenski, Gerhard*: Rethinking Macrosociological Theory, in: *American Sociological Review*, 53, 1988, S. 163-171.
- Lindenberg, Siegwart*: Simulation und Theoriebildung, in: *Hans Albert* (Hrsg.), *Sozialtheorie und soziale Praxis*, Meisenheim am Glan 1971, S. 78-113.
- Lindenberg, Siegwart*: Individuelle Effekte, kollektive Phänomene und das Problem der Transformation, in: *Klaus Eichner und Werner Habermehl* (Hrsg.), *Probleme der Erklärung sozialen Verhaltens*, Meisenheim 1977, S. 46-84.
- Lindenberg, Siegwart*: Erklärung als Modellbau: Zur soziologischen Nutzung von Nutzentheorien, in: *W. Schulte* (Hrsg.), *Soziologie in der Gesellschaft*, Bremen 1981, S. 20-35.
- Löeck, Gisela*: Ist Simulation Erklärung? Cognitive Science – wissenschaftstheoretisch betrachtet, in: *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, 17, 1986, S. 14-39.
- Markovsky, Barry*: Toward Multilevel Sociological Theories: Simulations of Actor and Network Effects, in: *Sociological Theory*, 5, 1987, S. 101-117.
- Marwell, Gerald, Pamela E. Oliver und Ralph Prahl*: Social Networks and Collective Action: A Theory of the Critical Mass III, in: *American Journal of Sociology*, 94, 1988, S. 502-534.
- Meadows, Dennis L., Donella H. Meadows, Jorgen Randers und William W. Behrens*: *The Limits to Growth*, New York 1972.
- Meadows, Donella H., und Jenny M. Robinson*: *The electronic Oracle. Computer Models and Social Decisions*, Chichester 1985.
- Neelamkavil, Francis*: *Computer Simulation and Modelling*, Chichester 1987.
- Orcutt, Guy, Joachim Merz und Hermann Quinke* (Hrsg.): *Microanalytic Simulation Models to support Social and Financial Policy*, Amsterdam 1986.
- Ostrom, Thomas M.*: Computer Simulation: The Third Symbol System, in: *Journal of Experimental Social Psychology*, 24, 1988, S. 381-392.
- Phillips, Bernard*: *Sociological Research Methods*, Homewood/Illinois 1985.
- Pollins, Brian M.*: Progress in World Modeling: Reflections on the Past Decade, in: *Behavioral Science*, 29, 1984, S. 162-168.
- Popper, Karl R.*: *Das Elend des Historizismus*, Tübingen 1971.
- Rauch, Hans*: *Modelle der Wirklichkeit. Simulation dynamischer Systeme mit dem Mikrocomputer*, Hannover 1985.
- Richardson, George P., und Alexander L. Pugh*: *Introduction to System Dynamics Modelling with DYNAMO*, Cambridge/Mass. 1981.
- Roberts, Nancy, David F. Andersen, Ralph M. Deal, Michael S. Garet und William A. Shaffer*: *Introduction to Computer Simulation: The System Dynamics Approach*, Reading/Mass. 1983.
- Sanderson, Stephen K.*: *Macrosociology. An Introduction to Human Societies*, New York 1988.
- Schelling, Thomas C.*: Dynamic Models of Segregation, in: *Journal of Mathematical Sociology*, 1, 1971, S. 143-186.
- Schnell, Rainer, Paul B. Hill und Elke Esser*: *Methoden der empirischen Sozialforschung*, München, 2. Aufl. 1989.
- Schrodt, Philip A.*: Adaptive Precedent-Based Logic and Rational Choice: A Comparison of Two Approaches to the Modeling of International Behavior, in: *Urs Luterbacher und Michael D. Ward* (Hrsg.), *Dynamic Models of International Conflict*, Boulder/Colorado 1985, S. 373-400.
- Schrodt, Philip A.*: PWORLD: A Precedent-Based Global Simulation, in: *Social Science Computer Review*, 6, 1988, S. 27-42.
- Siegmann, Heinrich*: *Recent Developments in World Modeling*, UNESCO, Bureau of Studies and Programming, BEP/GPI/2, Paris 1987.
- Stanislaw, Harold*: Tests of Computer Simulation Validity: What Do They Measure?, in: *Simulation and Games*, 17, 1986, S. 173-191.

- Starbuck, William H.*: Computer Simulation of Human Behavior, in: Behavioral Science, 28, 1983, S. 154-165.
- Strasser, Garold*: Computer Simulation as a Research Tool: The DISCUSS Model of Group Decision Making, in: Journal of Experimental Social Psychology, 24, 1988, S. 393-422.
- Sylvan, Donald A.*: Supplementing Global Models with Computational Models: An Assessment and an Energy Example, in: Behavioral Science, 32, 1987, S. 212-231.
- Troitzsch, Klaus G., und Michael Möhring*: Simulationsverfahren in den Sozialwissenschaften, in: Frank Faulbaum und Hans-Martin Uehlinger (Hrsg.), Fortschritte der Statistik-Software I, Stuttgart 1988, S. 433-447.
- Vetterle, Helmut*: Konstruktion und Simulation mikroanalytischer Modelle. Die Methode der Mikrosimulation und ihre Anwendung, Augsburg 1986.
- Wippler, Reinhard*: The Generation of Oligarchic Structures in Constitutionally Democratic Organizations, in: Werner Raub (Hrsg.), Theoretical Models and Empirical Analyses, Utrecht 1982, S. 43-62.
- Wobst, H. Martin*: Boundary Conditions for Paleolithic Social Systems: A Simulation Approach, in: American Antiquity, 39, 1974, S. 147-177.
- Zwicker, Eckart*: Simulation und Analyse dynamischer Systeme in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Berlin und New York 1981.

*Korrespondenzanschrift*: Dr. Rainer Schnell, Institut für angewandte Sozialforschung, Universität zu Köln, Greinstraße 2, 5000 Köln 41